

## **Dimensionamento do Pavimento para Restauração da Rodovia Governador Jorge Lacerda, na Cidade de Criciúma – SC**

Igor Rodrigues Hahn (1); Pedro Arns (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)[i-hahn@hotmail.com](mailto:i-hahn@hotmail.com), (2)[par@unesc.net](mailto:par@unesc.net)

### **RESUMO**

O presente estudo tem por objetivo, realizar o dimensionamento da restauração de um trecho da Rodovia Governador Jorge Lacerda na Cidade de Criciúma – SC, tendo em vista que a mesma foi construída há aproximadamente 35 anos, e seu revestimento se encontra em estado péssimo. O início do estudo se deu pela coleta dos materiais do subleito, base e Revestimento, no bordo, rente ao revestimento, e transportado ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS), da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), para realização dos ensaios de caracterização dos mesmos. Foram, também, realizados os Levantamentos Deflectométrico a cada 20 metros nos dois bordos, bem como o dos Defeitos na Capa Asfáltica. Os resultados dos ensaios do subleito, físico e mecânico, resultaram que o mesmo possui boas características não havendo necessidade de substituí-lo por outro material. A camada de base é constituída de seixo parcialmente britado, que ensaiado, seus resultados enquadraram-se nas especificações do Departamento Nacional de Infra-estrutura de Transportes (DNIT). O Revestimento Asfáltico, apesar de sua idade, mantém ainda um aspecto brilhoso, e os ensaios realizados com o mesmo se enquadraram nas especificações do Departamento Estadual de Infra-estrutura (DEINFRA). Pelo levantamento deflectométrico obteve-se valores abaixo do mínimo especificado, significando que a estrutura do pavimento continua em bom estado com exceção do revestimento asfáltico, cuja avaliação visual feita *in loco*, foi classificado pelo Índice de Gravidade Global, considerado péssimo, enquadrando-o na hipótese V, que indica a necessidade de sua reconstrução. Baseado nos ensaios laboratoriais de todos os materiais, e pelo Número Equivalente Padrão (N), dimensionou-se o pavimento, pelo Método do DNER, obtendo-se as espessuras de 15 cm para base e de 10 cm para o revestimento. Essa estrutura encontrada no dimensionamento será executada sobre o pavimento atual e também nos acostamentos, que hoje é inexistente.

*Palavras-Chave: Dimensionamento de Pavimentos, Revestimento asfáltico, Restauração de pavimento.*

### **1. INTRODUÇÃO**

A estrutura de um pavimento é composta por camadas sobrepostas de diferentes tipos de materiais, para atender estrutural e operacionalmente ao tráfego, de maneira durável e com um custo mínimo possível (BALBO, 2007).

A rápida deterioração das estruturas de um pavimento sem a devida conservação, exposto ao clima, às solicitações de um tráfego cada vez mais pesado, tem reflexo imediato a grande parte dos orçamentos dos gestores rodoviários (SANTOS, 2011).

O pavimento ao longo do tempo se desgasta, devido às ações do tráfego e intempéries, até atingir um estado onde os critérios mínimos estruturais não mais o satisfazem. Esse período corresponde à vida útil ou vida de serviço do pavimento (SANTOS, 2009).

Os pavimentos são construídos para ter um ciclo de vida, contudo, não havendo a adequada manutenção, começam a ocorrer patologias, deteriorando-os, necessitando a intervenção para respectiva correção funcional ou estrutural.

A avaliação de pavimentos incide em uma série de atividades, as quais fornecem informações sobre sua conservação atual, particularmente no que diz respeito às condições estruturais do pavimento e da capacidade de oferecer aos seus usuários conforto e segurança durante o tráfego de veículos (NÓBREGA, 2003).

A avaliação estrutural permite analisar as características de resistência e deformabilidade das camadas de uma estrutura, possibilitando a verificação da capacidade de carga do pavimento (FONSECA, 2013).

A restauração de um pavimento consiste num conjunto de ações físicas ou mecânicas, na rodovia existente, visando a restabelecer, a capacidade de carga da estrutura do pavimento, a vida útil e os padrões exigidos de conforto e segurança para o usuário. Na avaliação estrutural é verificada a condição da estrutura do pavimento de suportar cargas, por meio de levantamentos não-destrutivos, pela determinação da deflexão superficial, resultante da aplicação de uma carga conhecida (BERNUCCI, *et al.*, 2006).

O levantamento da condição estrutural do pavimento fornece informações valiosas ao projetista quanto a sua adequação estrutural, o grau de restauração e permite a seleção e dimensionamento da mais adequada alternativa de restauração (BRASIL, 2006).

Para realização de uma restauração estrutural de pavimento rodoviário, são necessários vários estudos e levantamentos, de acordo com Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER). Entre as mais importantes estão o levantamento dos defeitos na capa asfáltica, a contagem do tráfego atual, realização do estudo deflectométrico, e sondagem para realização de ensaios do subleito e as outras camadas existentes no pavimento.

Para se determinar a real situação de como se encontra a rodovia é necessário realizar algumas verificações *in-loco*, catalogando todos os defeitos visíveis e as prováveis causas que as provocaram.

Entre os estudos necessários para a restauração do pavimento, conforme DNER, estão o Estudo de Tráfego que fornece o Número Equivalente de Eixo Padrão Simples (N). O Estudo Deflectométrico está ligado diretamente a avaliação estrutural, pois, o mesmo fornecem as deflexões que apresenta o pavimento, com as deflexões, pode-se avaliar se o pavimento necessita de remendos ou até uma reconstrução. Outro estudo necessário é o conhecimento das camadas existentes no pavimento, através de sondagens e coletando os materiais constituintes no pavimento, para a realização de ensaios de laboratório.

O reforço do pavimento é o nome dado à nova camada de rolamento aplicada sobre a superfície do existente, quando se necessita de serviços de restauração ou reabilitação (BALBO, 2007).

O reforço por meio da camada asfáltica adicional ou recapeamento é o procedimento mais utilizado na restauração de pavimentos. Esse tipo de intervenção pode ser utilizado tanto para corrigir defeitos funcionais quanto estruturais (PINTO & PREUSSLER, 2002).

Segundo Senço (2001), o dimensionamento do reforço visa determinar a espessura da camada a ser construída sobre o pavimento antigo, de modo a reforçá-lo e dar uma vida mais longa para o mesmo, possibilitando um desempenho condizente com as necessidades do tráfego.

Existem alguns métodos de dimensionamento para o reforço do pavimento, segundo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). O critério de deformabilidade, onde se calcula a altura do reforço através do levantamento deflectométrico executado para avaliação estrutural, Outro método é do da resistência, onde há casos em que o reforço é dimensionado pelo mesmo método de pavimentos novos do DNIT.

O presente estudo foi realizado em um trecho de 1500 metros da Rodovia Governador Jorge Lacerda, da cidade de Criciúma – SC, tendo em vista que o revestimento do pavimento da mesma se encontra, totalmente deteriorada, pois foi executada há aproximadamente 35 anos, e seu projeto previsto para 10 anos de vida útil.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Dimensionar o pavimento para restauração da Rodovia Governador Jorge Lacerda na cidade de Criciúma – SC, no segmento compreendido entre os quilômetros 6 + 0,00 m e 7 + 500 m, correspondendo a 75 estacas, totalizando 1500 metros.

### **2.2. Objetivos Específicos**

O presente trabalho tem como objetivos específicos as seguintes etapas:

- Realização da Coleta de material;
- Realização dos Ensaios de Caracterização Física;
  - Granulometria;
  - Limite de Liquidez (LL) e Limite de Plasticidade (LP);
- Realização dos Ensaios de Caracterização Mecânica;
  - Determinação da Massa Específica Aparente Seca e a Umidade Ótima;
  - Índice de Suporte Califórnia (I.S.C.);
  - Expansão;
- Execução dos Ensaios de Granulometria e Equivalente de Areia da base;
- Execução dos Ensaios de Granulometria e Teor de Betume da massa asfáltica;
- Realizar a Avaliação Objetiva;
- Realizar o Levantamento Deflectométrico;
- Realizar a Avaliação Estrutural do Pavimento;
- Realizar a Dimensionamento da Restauração do Pavimento.

## **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **3.1. LOCAL DO ESTUDO**

O local para realização do presente estudo foi a Rodovia Governador Jorge Lacerda no Município de Criciúma – SC, que tem uma extensão total de 8360 metros, entre a BR 101 até o trevo que dá o acesso a Forquilha – SC. O trecho escolhido para

realização do estudo localiza-se entre os quilômetros 6 + 0,00 m e 7 + 500 m, conforme mostra a Figura 1, totalizando 1500 metros, dividido em 75 estacas.

Figura 1: Trecho escolhido



Fonte: Google Earth (2015).

### 3.2. COLETA DOS MATERIAIS

A coleta dos materiais foi realizada no bordo do pavimento da rodovia, objeto do presente estudo, aproximadamente 300 metros de distância. Foram realizados cinco furos de sondagens, e coletadas seis amostras de materiais, dentre elas, capa asfáltica, base e do subleito.

A coleta da capa asfáltica se deu pela retirada de uma pequena amostra do bordo, em todos os furos de sondagem. A base é de seixo parcialmente britado, e foi coletada uma pequena amostra em cada um dos furos de sondagem. Os materiais do subleito mostraram-se distintos um dos outros, sendo um de solo arenoso e os outros solos argilosos. Além da base de seixo parcialmente britado na espessura de 15 cm, há uma camada de sub-base de seixo rolado bruto de 30 cm, e revestimento asfáltico de 5 cm. A Figura 2 demonstra a seção transversal do pavimento existente na rodovia.

Logo após a coleta, as amostras de material foram encaminhadas ao Laboratório de Mecânica dos Solos (LMS) do Instituto de Engenharia e Tecnologia (IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), para realização dos ensaios.

A Figura 3 ilustra a coleta das amostras no bordo do pavimento da rodovia em estudo, com o auxílio da retroescavadeira.



Figura 2: Seção transversal do pavimento existente.



Fonte: Do Autor (2015).

Figura 3: Coleta das amostras no bordo da rodovia.



Fonte: Do Autor (2015).

### 3.3. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

Para a realização dos ensaios de caracterização dos materiais coletados, os mesmos foram preparados de acordo com a NBR 6457/86.

#### 3.3.1. MATERIAL DO SUBLEITO

##### ***CARACTERIZAÇÃO FÍSICA***

Para a caracterização física das amostras coletadas dos materiais do subleito foram realizados os seguintes ensaios:

- Análise Granulométrica (NBR 7181/84);
- Limite de Liquidez (NBR 6459/84);
- Limite de Plasticidade (NBR 7180/84)

Os ensaios citados acima são necessários para obtenção da classificação do material coletado, de acordo com *Highway Research Board* (HRB), atualmente *transportation Research Board* (TRB).

### **CARACTERIZAÇÃO MECÂNICA**

A caracterização mecânica compreende o ensaio de compactação a 100% da Energia do Proctor Normal, pelo qual se obtém a Máxima Densidade Aparente Seca ( $\gamma_{m\acute{a}x}$ ) e a Umidade Ótima ( $h_{ót}$ ), e é regulamentado pela norma NBR 7182/86. O ensaio do I.S.C. (NBR 9895/87) e da Expansão (NBR 9895/87), foi realizado para cada amostra do material coletado do subleito, na Máxima Densidade Aparente Seca e Umidade Ótima, a 100% da Energia do Proctor Normal.

A Figura 4 ilustra os respectivos ensaios de moldagem do corpo de prova e o mesmo sendo submetido ao ensaio de penetração na prensa de I.S.C.

Figura 4: Ensaio de I.S.C.



Fonte: Do Autor (2015).

#### **3.3.2. MATERIAL DA BASE**

No material da base foram realizados os ensaios de Equivalente de Areia (E.A.) e o da Granulometria. O Equivalente de Areia é regulamentado pela norma NBR

12052/92, e procura determinar a pureza de um material em relação à porcentagem de argila que ele contém, devendo apresentar um valor mínimo para servir como base que é de 30%. Para a Granulometria da base, foi realizado o quarteamento da amostra total, para transformar em três amostras, realizando então a granulometria, conforme a norma DNER-ME 083/98.

### 3.3.3. REVESTIMENTO ASFÁLTICO

O revestimento asfáltico coletado foi submetido ao ensaio da extração de betume, normatizado pela NBR 16208/2013, e pelo DNER-ME 053/94. As amostras foram aquecidas à temperatura entre 110 °C e 120 °C, para a extração do betume através do equipamento Rotarex, utilizando-se como solvente o Percloroetileno, para obter os teores de Cimento Asfalto de Petróleo (CAP).

Após a extração do betume, realizou-se a granulometria dos agregados conforme a norma DNER-ME 083/98, para determinar a faixa granulométrica na qual se enquadra.

A Figura 5 demonstra o equipamento Rotarex juntamente com os agregados para a extração do CAP.

Figura 5: Ensaio de Extração de Betume.



Fonte: Do Autor (2015).

### 3.4. AVALIAÇÃO OBJETIVA

A avaliação objetiva se constituiu na realização de um inventário visual dos defeitos encontrados no revestimento asfáltico. O levantamento foi realizado em todas as estacas do trecho em estudo, e com o auxílio de uma planilha, a qual foi preenchida de acordo com os defeitos visualizados como: fissuras, trincas, afundamentos,



ondulações, escorregamentos, desgastes, panelas, remendos e trilha de roda. De posse dos dados da planilha preenchida, determinou-se o estado do pavimento em bom ou péssimo. O levantamento dos defeitos foi realizado de acordo com a especificação DNIT 006/2003 – PRO.

Como ilustra a Figura 6, nota-se que a rodovia encontra-se em alto estado de deterioração, ou seja, em estado péssimo, cheio de trincas, ondulações, remendos, entre outros defeitos.

Figura 6: Alguns defeitos encontrados na rodovia.

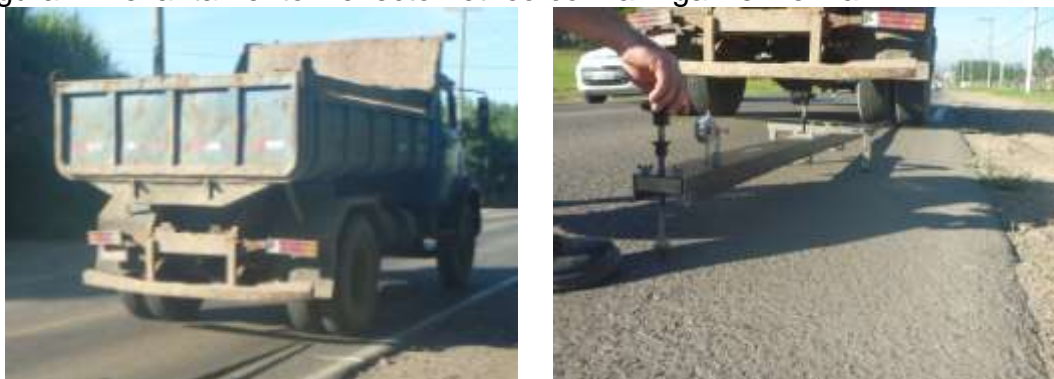


Fonte: Do Autor (2015).

### 3.5. LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO

O levantamento deflectométrico foi realizado com a Viga Benkelman, que mede a deflexão pontual no pavimento pela aplicação de uma determinada carga. Para realização da deflexão no pavimento necessita-se de um caminhão com eixo simples padrão e rodado duplo, carregado com 8,2 toneladas no eixo traseiro, e da Viga Benkelman. A Figura 7 mostra a Viga Benkelman e o caminhão utilizado para o procedimento, de acordo com o DNER-ME 024/94.

Figura 7: Levantamento Deflectométrico com a Viga Benkelman.



Fonte: Do Autor (2015).

### **3.6. ESTUDO DE TRÁFEGO**

O estudo de tráfego visa determinar o volume do mesmo atual na rodovia, e também, a taxa de crescimento para período da vida útil utilizado no projeto de pavimentação ou restauração. O estudo de tráfego fornece ao projetista as características do mesmo regionalmente, além de fornecer o “N”, que é o número de repetições dos eixos dos veículos, equivalentes às solicitações do eixo padrão de 8,2 toneladas, durante o período considerado de vida útil do pavimento.

Como o Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA) mantém atualizado seu banco de dados de tráfego, cedeu o levantamento do mesmo e o respectivo valor do “N” para rodovia em estudo.

### **3.7. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO**

A avaliação estrutural permite analisar as características de resistência e deformabilidade das camadas que compõe a estrutura do pavimento. Esta avaliação é a base da tomada de decisão, quanto às soluções de projetos de reforços de pavimentos, pois a partir dos dados obtidos, nesta avaliação, é possível diagnosticar a ocorrência de defeitos no pavimento e definir as soluções necessárias, para a restauração do pavimento da rodovia, a fim de garantir uma maior vida de projeto.

De posse dos estudos do subleito, dos dados deflectométricos e do valor de “N”, nos permitiu dimensionar a restauração. No presente estudo, utilizou-se o método DNER-PRO 011/79.

### **3.8. DIMENSIONAMENTO DA RESTAURAÇÃO**

É necessário estar com todos os levantamentos e estudos prontos, para então realizar o dimensionamento da restauração. A definição do método de dimensionamento a ser utilizado para restauração é através da avaliação estrutural. Conforme a DNER – PRO 011/79, existem dois critérios de dimensionamento o Critério Deflectométrico e o Critério da Resistência.

O Critério Deflectométrico é um dos métodos utilizados pela norma DNER-PRO 011/79, na qual é calculada a espessura necessária de reforço do pavimento através do levantamento deflectométrico realizado para a avaliação estrutural. O Critério da

Resistência é utilizado através do dimensionamento de um pavimento novo pelo Método do DNER conforme o Manual de Pavimentação de 2006 do DNIT.

## 4. RESULTADOS

Os resultados apresentados a seguir são referentes aos ensaios realizados para o dimensionamento da restauração da rodovia em estudo.

### 4.1. CARACTERIZAÇÃO DOS MATERIAIS

#### 4.1.1. MATERIAL DO SUBLEITO

Na Tabela 1 constam os resultados obtidos na caracterização física das amostras coletadas na rodovia, referente aos limites de consistência, percentual passante na peneira número 200 e a sua respectiva classificação TRB.

Tabela 1: Caracterização Física.

Estacas	14	30	45 Amostra 01	45 Amostra 02	60	75
LL	NL	39	42	24	NL	35
LP	NP	28	27	21	NP	28
IP	0	11	15	3	0	7
% Passante nº 200	12,0	92,3	85,6	95,9	33,0	88,8
IG	0	9	11	8	0	8
TRB	A1-a	A6	A7-6	A4	A2-4	A4

Fonte: Do Autor (2015).

A Tabela 2 apresenta os resultados da caracterização mecânica das amostras de solo executados, referentes às Máximas Densidades Aparentes Secas ( $\gamma_s$  máx) e as Umidades Ótimas ( $h_{ót}$ ), bem como dos respectivos I.S.C. e Expansão.

Tabela 2: Caracterização Mecânica.

Estacas	14	30	45 Amostra 01	45 Amostra 02	60	75
$\gamma_s$ máx (g/cm <sup>3</sup> )	1,825	1,570	1,663	1,676	1,766	1,634
$h_{ót}$ (%)	13,0	23,5	19,5	17,4	16,8	18,3
I.S.C. (%)	27,9	5,1	9,2	15,5	8,9	14,3
Expansão (%)	0,03	0,91	0,87	0,27	0,51	0,73

Fonte: Do Autor (2015).

Conforme a Tabela 2 os valores de I.S.C. e Expansão atendem o Manual de Pavimentação 2006 do DNIT, quanto ao quesito do I.S.C. do subleito maior que 2% e Expansão menor do que 2%.

#### 4.1.2. MATERIAL DA BASE

As amostras de base foram submetidas aos ensaios do E.A. e ao da granulometria. Na Tabela 3 constam os resultados dos ensaios de Equivalente de Areia.

Tabela 3: Equivalente de Areia (E.A.)

<b>Amostra</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Leitura do Topo da Areia (cm)	8,0	8,6	8,4
Leitura do Topo da Argila (cm)	20,5	19,8	21,7
E. A. (%)	39,0%	43,4%	38,7%
E. A. média (%)	40,4%		

Fonte: Do Autor (2015).

Pelos resultados obtidos no ensaio de E.A., pode-se afirmar que o material de base existente no trecho da rodovia estudada, atende ao requisito do Manual de Pavimentação do DNIT, que o mínimo de E.A. é 30%.

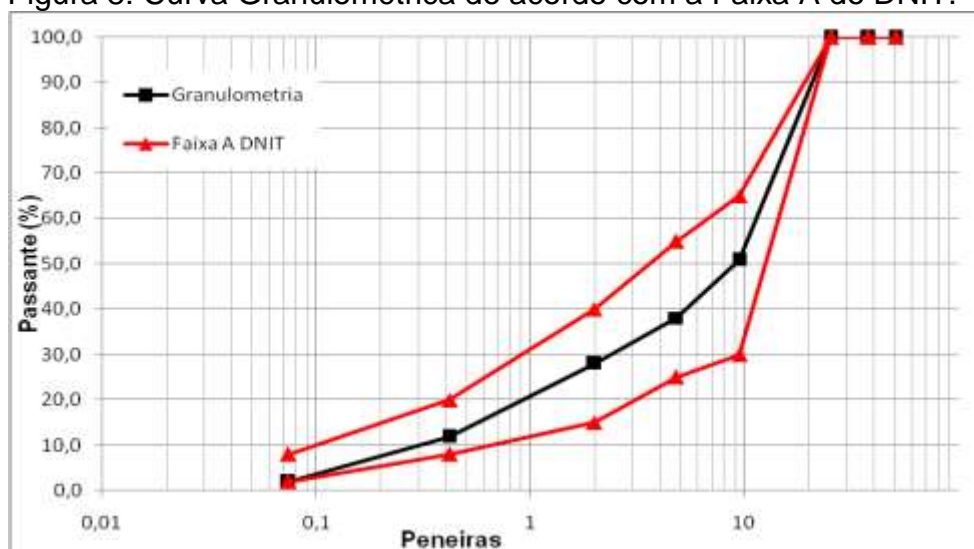
Na Tabela 4 e na Figura 8 apresenta a granulometria da base coletada, que foi realizada em três amostras, obtendo-se a média.

Tabela 4: Granulometria da Base

<b>Peneiras</b>		<b>% Passante</b>		
<b>Malha</b>	<b>mm</b>	<b>Granulometria</b>	<b>Faixa A DNIT</b>	
2"	50,8	100,0	100	100
1.1/2"	38,1	100,0	100	100
1"	25,4	100,0	100	100
3/8"	9,5	50,9	30	65
#4	4,8	38,1	25	55
#10	2,0	28,0	15	40
#40	0,42	11,9	8	20
#200	0,074	2,0	2	8

Fonte: Do Autor (2015).

Figura 8: Curva Granulométrica de acordo com a Faixa A do DNIT.



Fonte: Do Autor (2015).

Conforme mostra a Figura 8, a curva granulométrica se encaixa perfeitamente na faixa especificada, porém, na peneira #200 ela se encontra no limite inferior da mesma.

#### 4.1.3. REVESTIMENTO ASFÁLTICO

Para os ensaios de Teor de Betume e Granulometria foram realizados três amostras. A Tabela 5 mostra o resultado da extração de betume realizado.

Tabela 5: Extração de Betume.

Amostra	1	2	3
Peso da amostra com ligante	1261,6	1014,4	1017,8
Peso da amostra sem ligante	1180,1	952,2	955,7
Teor de Betume (%)	6,5%	6,1%	6,1%
Teor de Betume médio (%)	6,2%		

Fonte: Do Autor (2015).

A granulometria mostrada na Tabela 6 e na Figura 9 demonstra a curva granulométrica média juntamente com a faixa da especificação que é a Faixa D do DEINFRA.

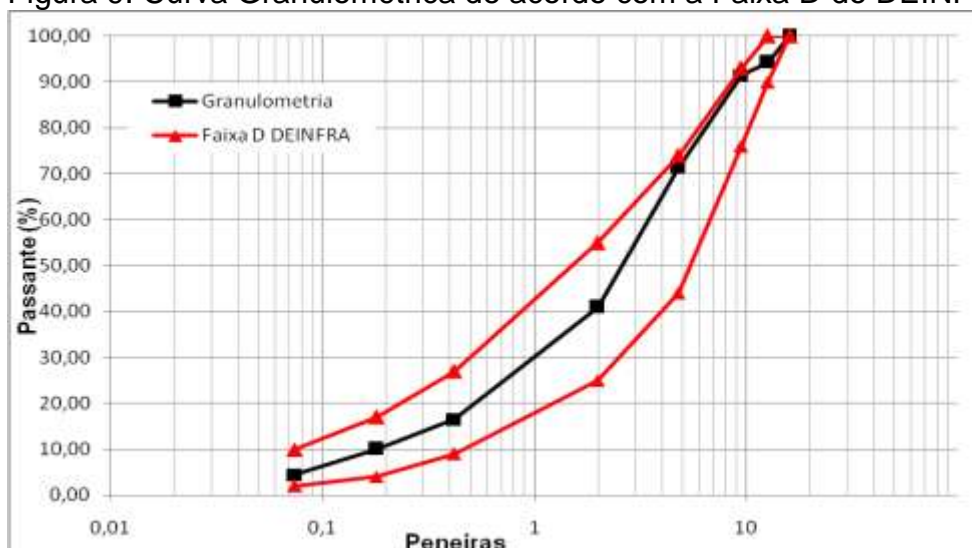


Tabela 6: Granulometria da Capa Asfáltica.

Peneiras		% Passante		
Malha	mm	Granulometria	Faixa D DEINFRA	
3/4"	16,1	100,00	100	100
1/2"	12,7	94,31	90	100
3/8"	9,5	91,49	76	93
#4	4,8	71,42	44	74
#10	2	40,97	25	55
#40	0,42	16,51	9	27
#80	0,18	10,02	4	17
#200	0,074	4,50	2	10

Fonte: Do Autor (2015).

Figura 9: Curva Granulométrica de acordo com a Faixa D do DEINFRA.



Fonte: Do Autor (2015).

## 4.2. AVALIAÇÃO OBJETIVA

A avaliação objetiva foi realizada em campo, percorrendo-se a pé todo o segmento, em estudo, catalogando-se todos os defeitos observados visualmente, de acordo com a classificação constante na Tabela 7.

Tabela 7: Resumo dos Defeitos.

<b>Codificação</b>	<b>Defeitos</b>
FI	Fissuras
J	“Jacaré” - Sem erosão acentuada na borda das trincas
TB	Trincas em “Bloco” – Sem erosão acentuada nas bordas das trincas
TBE	Trincas em “Bloco” – Com erosão acentuada nas bordas das trincas
ALC	Afundamento local devido consolidação das camadas do pavimento
ATC	Afundamento na trilha devido consolidação das camadas do pavimento
P	Panela decorrente da degradação do pavimento
E	Escorregamento do revestimento asfáltico
D	Desgaste acentuado na superfície do revestimento
RS	Remendos superficiais

Fonte: Do Autor (2015).

Para classificar o estado de degradação na qual se encontra o revestimento do pavimento do trecho em estudo, foi necessário realizar a frequência dos defeitos no trecho em estudo, o Índice de Gravidade Individual (IGI) e o Índice de Gravidade Global (IGG) conforme a especificação do DNIT 006/2003 - PRO. A Tabela 8 demonstra a frequência dos defeitos e o resultado do IGI do trecho analisado.

Tabela 8: Resultado do IGI.

<b>Natureza do defeito</b>	<b>Frequência dos Defeitos</b>	<b>IGI</b>
FI	18	2,40
J, TB	68	22,67
TBE	33	17,60
ALC, ATC	63	37,80
P, E	90	60,00
D	38	7,60
RS	105	42,00
Total	415	190,07

Fonte: Do Autor (2015).

O Índice de Gravidade Global (IGG) é realizado através do somatório do Índice de Gravidade Individual (IGI) mostrado na Tabela 8, resultando em um valor de IGG igual a 190,07. De posse do índice de Gravidade Global classificou-se o estado de

degradação do pavimento. Na Figura 10 constam os conceitos de degradação de um pavimento, em função do IGG.

Figura 10: Conceito de degradação do pavimento.

CONCEITO	LIMITES
Ótimo	$0 < \text{IGG} \leq 20$
Bom	$20 < \text{IGG} \leq 40$
Regular	$40 < \text{IGG} \leq 80$
Ruim	$80 < \text{IGG} \leq 160$
Péssimo	$\text{IGG} > 160$

Fonte: DNIT 006/2003 - PRO.

Utilizando o resultado do IGG e comparando-o com os da Figura 10 constata-se que o pavimento da rodovia se encontra em um estado péssimo, conforme especificado na norma.

#### 4.3. LEVANTAMENTO DEFLECTOMÉTRICO

Na Figura 11 constam as leituras das deflexões realizadas com a Viga Benkelman, já corrigidas.

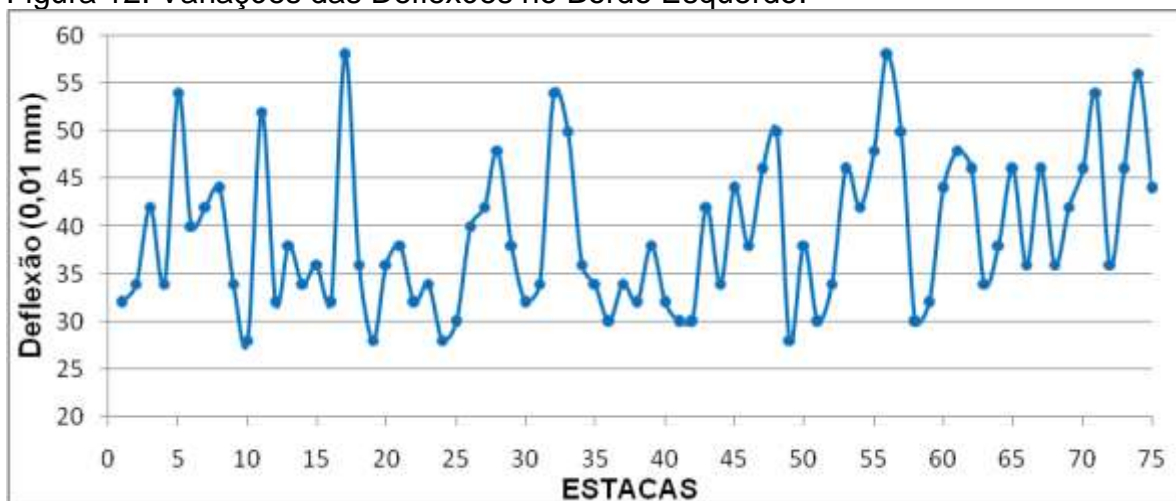
Figura 11: Valores das Deflexões no Bordo Esquerdo e Direito.

Estaca	Deflexão (0,01mm)		Estaca	Deflexão (0,01mm)		Estaca	Deflexão (0,01mm)	
	Esquerdo	Direito		Esquerdo	Direito		Esquerdo	Direito
1	32	44	26	40	40	51	30	36
2	34	34	27	42	34	52	34	30
3	42	46	28	48	36	53	46	42
4	34	50	29	38	34	54	42	24
5	54	66	30	32	36	55	48	40
6	40	46	31	34	38	56	58	36
7	42	54	32	54	60	57	50	34
8	44	56	33	50	76	58	30	34
9	34	48	34	36	46	59	32	36
10	28	36	35	34	50	60	44	42
11	52	48	36	30	32	61	48	52
12	32	54	37	34	34	62	46	42
13	38	36	38	32	40	63	34	38
14	34	38	39	38	44	64	38	48
15	36	34	40	32	48	65	46	50
16	32	42	41	30	72	66	36	38
17	58	48	42	30	70	67	46	38
18	36	62	43	42	42	68	36	46
19	28	76	44	34	40	69	42	38
20	36	38	45	44	52	70	46	34
21	38	36	46	38	28	71	54	54
22	32	42	47	46	42	72	36	52
23	34	48	48	50	48	73	46	48
24	28	52	49	28	38	74	56	44
25	30	42	50	38	40	75	44	36

Fonte: Do Autor (2015).

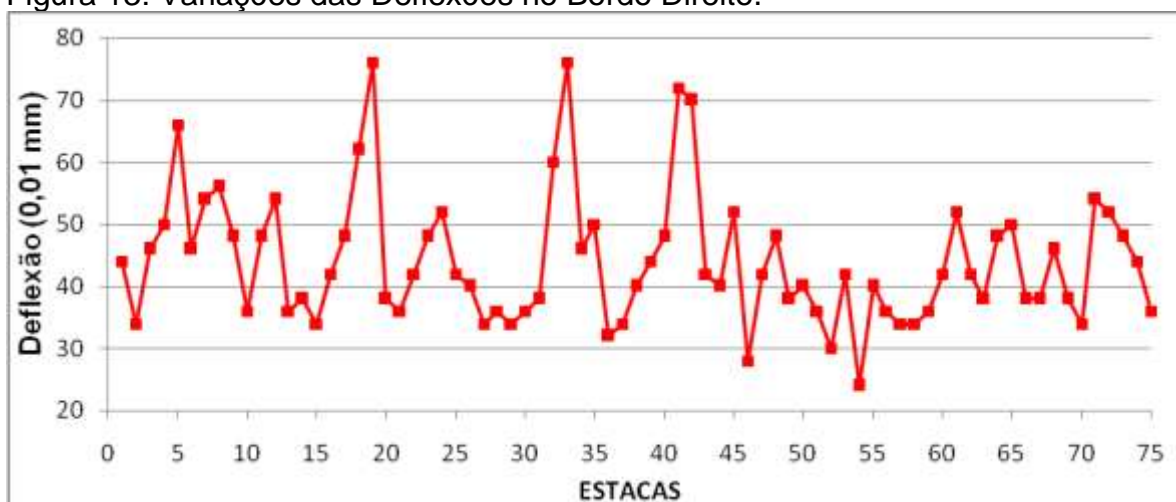
A Figura 12 e Figura 13 mostram as variações das deflexões por estaca, no bordo esquerdo e no bordo direito, do trecho da rodovia, do presente estudo.

Figura 12: Variações das Deflexões no Bordo Esquerdo.



Fonte: Do Autor (2015).

Figura 13: Variações das Deflexões no Bordo Direito.



Fonte: Do Autor (2015).

#### 4.4. ESTUDO DE TRÁFEGO

O estudo de tráfego para o trecho analisado da Rodovia Governador Jorge Lacerda, foi cedido pelo DEINFRA. O número “N” utilizado, no dimensionamento, foi o valor da USACE, constante na Tabela 9.

Tabela 9: Valores de “N”

USACE	$3,22 \times 10^7$
AASHTO	$9,80 \times 10^6$

Fonte: Departamento Estadual de Infraestrutura (DEINFRA)

#### 4.5. AVALIAÇÃO ESTRUTURAL DO PAVIMENTO

A Figura 14 mostra as equações para realização dos cálculos, para a realização da avaliação estrutural.

Figura 14: Equações para o Cálculo da avaliação estrutural.

$$D = \frac{\sum D_i}{n} \quad \sigma = \sqrt{\frac{\sum (D_i - D)^2}{n - 1}}$$

$$D_c = D \times \sigma \quad D_p = D_c \times F_s$$

$$\log D_{adm} = 3,01 - 0,176 \times \log N$$

D= Deflexão Média  
 Di= Deflexões Individuais  
 n= Número de Leituras  
 σ= Desvio Padrão  
 Dc= Deflexão Característica  
 Dp= Deflexão de Projeto  
 Fs= Fator de Correção Sazonal  
 D<sub>adm</sub>= Deflexão Admissível  
 N= Número Equivalente de Eixo Padrão Simples

Fonte: DNER – PRO 011/79.

A Tabela 10 mostra os resultados obtidos a partir das equações mostradas na Figura 14, cujos resultados são os, da Deflexão Característica (Dc), Deflexão de Projeto (Dp), Deflexão Admissível (Dadm) e IGG.

Tabela 10: Resultados da Avaliação Estrutural.

Dc (0,01mm)	53,58
Dp (0,01mm)	53,58
Dadm (0,01mm)	49,00
IGG	Péssimo (190,07)

Fonte: Do Autor (2015).

Na Figura 15 constam os critérios para o cálculo do reforço da restauração conforme especifica a norma do DNER-PRO 11/79.



Figura 15: Critérios para Avaliação Estrutural.

Hipótese	Dados Deflectométricos obtidos	Qualidade Estrutural	Necessidade de Estudos Complementares	Critério para Cálculo de Reforço	Medidas Corretivas
I	$D_p \leq D_{adm}$ $R \geq 100$	BOA	NÃO		Apenas correções de superfície
II	$D_p > D_{adm}$ $R \geq 100$	Se $D_p \leq 3 D_{adm}$ REGULAR	NÃO	Deflectométrico	Reforço
		Se $D_p > 3 D_{adm}$ MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
III	$D_p \leq D_{adm}$ $R < 100$	REGULAR, PARA MÁ	SIM	Deflectométrico e Resistência	Reforço ou Reconstrução
IV	$D_p > D_{adm}$ $R < 100$	MÁ	SIM	Resistência	Reforço ou Reconstrução
V	—	MÁ O pavimento apresenta deformações permanentes e rupturas plásticas generalizadas ( $IGG > 180$ ).	SIM	Resistência	Reconstrução

Fonte: DNER -PRO 011/79.

Comparando a Tabela 10 com a Figura 15, nota-se que pelo resultado obtido do IGG superior a 180, o revestimento da rodovia é classificado pela hipótese V, e a qualidade estrutural da mesma é caracterizada como má, necessitando assim da reconstrução do pavimento.

#### 4.6. DIMENSIONAMENTO DA RESTAURAÇÃO

Para realização do dimensionamento do pavimento a ser restaurado, utilizou-se o Método do DNER, conforme o Manual de Pavimentação de 2006 do DNIT, para pavimentos flexíveis. Para realização do mesmo foi utilizado o valor mais baixo de I.S.C. encontrado nos ensaios das amostras do subleito, que foi de 5,1%. Além do valor do I.S.C. utilizou-se o valor de “N” igual a  $3,22 \times 10^7$ .

Como Reforço e Sub-base adotaram-se a espessura do pavimento existente da rodovia, incluindo-se o seu revestimento, sendo de aproximadamente de 50 cm.

Como a espessura calculada da base de 8 cm, valor este é abaixo do mínimo especificado para base, e de acordo com as recomendações do DNIT usou-se 15 cm de Base Brita Graduada Simples (B.G.S.).

A espessura do revestimento é em função do valor de “N”, e tabelado, cujo valor foi de 10 cm.

A base de B.G.S. a ser executada sobre o pavimento existente, além de atender aos esforços do tráfego servirá também, para regularizar transversal e longitudinalmente a rodovia, incluindo-se os acostamentos. Sobre esta, será executado o revestimento

em Concreto Asfáltico (C.A.) na espessura de 10 cm, sendo 5 cm em CA convencional e 5 cm em CA modificado com borracha.

Para os acostamentos utilizou-se uma base igual ao da camada da pista de rolamento, e para o revestimento uma espessura de 5 cm de CA convencional.

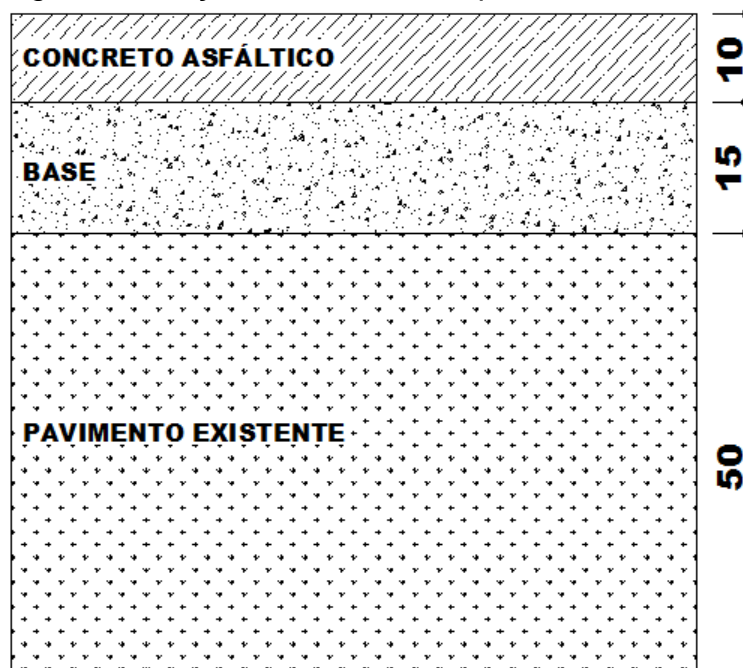
A Tabela 11 ilustra as espessuras das camadas que serão executadas sobre o pavimento antigo. A Figura 16 demonstra a seção do pavimento após ser restaurado, com as camadas encontradas no dimensionamento.

Tabela 11: Espessuras das camadas do pavimento.

Revestimento	Base	Sub-base
10 cm	15 cm	50 cm

Fonte: Do Autor (2015).

Figura 16: Seção do Pavimento após ser restaurado.



Fonte: Do Autor (2015).

## 5. DISCUSSÕES

Apesar de tratar-se de uma rodovia antiga, pavimentada a mais de 35 anos, a sua estrutura, com exceção de seu revestimento, encontra-se em bom estado. Isto ficou demonstrado em todos os estudos e ensaios realizados, tanto do subleito como na camada da base. Como a sub-base é de seixo rolado bruto, pode ser enquadrado como macadame.

Outro fato relevante foi à deflexão obtida em cada estaca, nos dois bordos da pista, que ficaram abaixo do valor admissível para base. Isto vem comprovar que quando da execução, esta foi bem realizada, tanto que os ensaios assim o demonstram. As amostras coletadas no subleito, em todos os pontos, pelos ensaios mecânicos realizados, resultaram em valores acima dos mínimos exigidos pelas especificações e normas.

Mesmo o revestimento, que nunca recebeu um tratamento mais adequado, simplesmente remendos e tapa-buracos, após 35 anos de uso, a sua massa mantém aspecto vivo e brilhoso. Nota-se que o mesmo teve seu projeto bem elaborado, pois o ter de betume permaneceu dentro do percentual utilizado, e principalmente a granulometria do agregado, após a extração, que se enquadrou na faixa “C” do Departamento de Estradas e Rodagem (DER), na época, ou faixa “D”, na nova nomenclatura do DEINFRA.

Portanto, após o longo período em que o pavimento da rodovia ficou submetido, a única camada que se deteriorou foi a do revestimento asfáltico de 5 cm de espessura. Isto ocorreu, porque com o tempo sofreu esforços aplicados pelos veículos, que aumentaram em muito, desde o ano da liberação até os dias atuais, além do envelhecimento natural, como perdas da flexibilidade, tornando-se mais rígido.

## 6. CONCLUSÕES

- A rodovia Governador Jorge Lacerda, construída há 35 anos, e havendo um aumento significativo de tráfego, sem ter recebida uma conservação adequada, sofreu, também, a ação das intempéries tornando seu revestimento de tal forma desgastada e deteriorada, que foi classificado como péssimo, exigindo a sua reconstrução.
- O subleito apresentou bons resultados, quanto ao I.S.C. e expansão apresentando valores dentro dos mínimos especificados.
- A estrutura do pavimento, excluída a camada do revestimento, encontra-se em bom estado, verificado pelas medições das deflexões, e por isso foi aproveitada como reforço e sub-base.

- No dimensionamento manteve-se a estrutura existente da rodovia obtendo-se, assim, uma espessura adicional de 15 cm de Base de Brita Graduada Simples e 10 cm de CA.
- A base de Brita Graduada Simples além de receber as ações do tráfego para vida útil de projeto servirá, também, para regularização da superfície total da rodovia.
- Quanto ao revestimento optou-se utilizar duas camadas asfálticas, sendo a inferior em CA convencional e a superior em CA modificado com borracha, pois esta possui qualidades superiores aumentando a sua vida útil.

## 7. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6457/1986**: Amostras de solo - Preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR 12052/1992**: Solo ou agregado miúdo – Determinação do equivalente de areia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1992.

\_\_\_\_\_. **NBR 16208/2013**: Misturas asfálticas — Determinação do teor de betume pelo Soxhlet, pelo Rotarex e pelo refluxo duplo. Rio de Janeiro, 2013.

\_\_\_\_\_. **NBR 6459/1984**: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 7180/1984**: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 7181/1984**: Solo – Análise Granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.

\_\_\_\_\_. **NBR 7182/1986**: Solo – Ensaio de compactação. Rio de Janeiro, 1986.

\_\_\_\_\_. **NBR 9895/1987**: Solo – Índice de Suporte Califórnia – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 1987.

BALDO, J. T. **Pavimentação Asfáltica**: materiais, projetos e restauração. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 558 p.

BERNUCCI L. B., MOTTA L. M. G., CERATTI J. A. P., SOARES J. B., **Pavimentação Asfáltica. Formação Básica para Engenheiros**. Rio de Janeiro. Petrobras. Abeda, 2006. 501p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT. **Manual de Pavimentação**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006. 274p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT. **Manual de Restauração**. 3 ed. Rio de Janeiro, 2006. 310p.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte - DNIT. **DNIT 006/2003 – PRO: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. Rio de Janeiro, 2003

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 024/94: Pavimento – determinação das deflexões pela Viga Benkelman**. Rio de Janeiro, 1994.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-PRO 011/79: Avaliação Estrutural dos Pavimentos Flexíveis – Procedimento B**. Rio de Janeiro, 1979.

BRASIL. Ministério dos Transportes. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **DNER-ME 083/98: Agregados – análise granulométrica**. Rio de Janeiro, 1998.

FONSECA, Luiz F. da S.. **Análise das soluções de pavimento do programa CREMA 2ª etapa do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes**. 2013. 226p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

NÓBREGA, Eduardo Suassuna. **Comparação entre métodos de retroanálise em pavimentos asfálticos**. 2003. 365p. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

PINTO, S.; PREUSSLER, E. **Pavimentação Rodoviária: Conceitos fundamentais sobre pavimentos flexíveis**. 2. ed. Rio de Janeiro: Copiarte, 2002.

SANTOS, Caio R. Gonçalves. **Dimensionamento e Análise do Ciclo de Vida de Pavimentos Rodoviários: uma abordagem probabilística**. 2011. 263p. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SANTOS, Mario J. L. dos. **Dimensionamento de camadas de reforço de pavimentos rodoviários flexíveis**. 2009. 187p. Dissertação (Mestrado). Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de Pavimentação – Volume II**. São Paulo: Pini, 2001.